

## **ESTUDO, CARACTERIZAÇÃO E MODELAÇÃO DE REGIMES PLUVIOMÉTRICOS EM AMBIENTES URBANOS. OS CASOS DE ESTUDO DE ALGUMAS CIDADES PORTUGUESAS E ESTRANGEIRAS.**

**Pedro T. B. S. Branco, Maria F. C. Moreira, Carmen I. C. Vasconcelos, Catarina I. M. D. Cardoso, Joaquim E. S. Góis**

### **RESUMO**

O presente trabalho analisa os regimes pluviométricos de localidades portuguesas e estrangeiras com recurso a estatísticos básicos, à modelação com base nas cadeias de Markov, à geoestatística (fazendo uso dos “variogramas temporais”) e à análise espectral. Procurou-se estudar os ritmos pluviométricos de cada localidade em separado e as eventuais diferenças entre os regimes de precipitação de localidades situadas em contextos e realidades climáticos/geográficos/urbanísticos distintos. As localidades portuguesas exibem regimes pluviométricos muito idênticos entre si, contrastando com as localidades estrangeiras. No período em análise e para todas as localidades estudadas, a probabilidade de ocorrência de precipitação é independente do dia da semana. Esta conclusão afasta as interpretações sobre a influência de alguns fenómenos de poluição sobre o ritmo pluviométrico semanal das cidades. Foram identificados os períodos de dependência temporal entre a ocorrência de precipitação num dado dia e em dias posteriores.

### **1 INTRODUÇÃO**

Mais de metade da população mundial vive nos grandes aglomerados habitacionais a que vulgarmente atribuímos a designação de cidades e, conseqüentemente, com o acelerado processo de urbanização/industrialização, aliado ao *modus vivendi* urbano, tem-se vindo a assistir a alterações ao nível do clima urbano (Huff, 1973). A cidade tornou-se um agente capaz de modificar o “seu” clima em relação ao clima de zonas limítrofes circundantes.

A precipitação é um parâmetro climático de importância fundamental não só pela forma como determina o planeamento urbanístico, mas também pelo condicionamento que impõe às vivências urbanas. Landsberg (1970) afirma a existência de um acréscimo de 10% no número de dias com menos de 0,5 mm/dia nas áreas urbanas em relação às zonas circundantes.

A concepção e desenvolvimento das cidades, quando não são perfeitamente caóticos, são feitos apenas por intermédio de decisões de carácter económico, político, social, cultural ou estético. Surge, assim, a necessidade de integrar as ambiências climáticas na planificação urbana, com o intuito central de melhorar a qualidade de vida nas cidades.

Pretende-se, através da aplicação de uma série de técnicas nos domínios da matemática e da estatística, contribuir para o esclarecimento do comportamento dos regimes pluviométricos de algumas localidades portuguesas e estrangeiras.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Âmbito do estudo

Avaliaram-se os regimes pluviométricos de seis localidades portuguesas: Bragança, Coimbra, Lisboa, Portalegre, Porto e Viana do Alentejo; e de cinco cidades estrangeiras: Moscovo (Rússia), Vladivostok (Rússia), Campinas (Brasil), Macau (China) e Armagh (Irlanda do Norte). A escolha das localidades foi ditada, essencialmente, pela facilidade de acesso aos dados. Na Figura 1 situam-se geograficamente as localidades em estudo.



Fig. 1 Referência geográfica das localidades em estudo

### 2.2 Dados - Registos pluviométricos

Para cada uma das localidades foram analisados os registos pluviométricos diários (total de precipitação diária) respeitantes a um período de 30 anos (1961-1990). A escolha do período em análise circunscreveu-se, uma vez mais, e à facilidade de acesso aos dados. Na Tabela 1 apresenta-se um pequeno excerto do tipo de dados analisados.

Tabela 1 Excerto dos registos da precipitação total diária (mm)

Data	Bragança	Lisboa	....	Coimbra	Campinas	Armagh	...	Macau
01-01-1961	8.5	9.2	....	10.2	0.0	2.0	....	0.0
02-01-1961	0.1	0.2	....	2.2	15.6	3.8	....	1.2
....	....	....	....	....	....	....	...	....
30-12-1990	0.7	0.0	....	0.5	11.1	1.3	....	0.0
31-12-1990	9.9	4.4	....	7.7	0.0	1.8	....	0.1

Em alguns dos tratamentos estatísticos efectuados houve necessidade de se proceder à conversão destes registos pluviométricos em dados booleanos do tipo: Presença de precipitação – “S” (registos de precipitação superior a 0,01 mm/dia); Ausência de precipitação – “N” (registos de precipitação inferior a 0,01 mm/dia).

### 2.3 Tratamento dos dados - Estatísticos básicos

Os estatísticos básicos compreenderam essencialmente a análise do total e da média de precipitação e do número de dias com presença de precipitação, tendo em conta períodos anuais, mensais e épocas (cada época caracteriza-se por um regime pluviométrico próprio).

## 2.4 Ritmos pluviométricos semanais - Teste de $\chi^2$

Com o intuito de analisar os ritmos de precipitação em função do dia de semana, tendência defendida por alguns autores (Cerveny, *et. al.*, 1998) ou (Toon, 2000) e que apontam para uma diferença entre a precipitação que ocorre durante a semana e a que ocorre ao fim-de-semana (indirectamente associam estas diferenças a fenómenos de poluição urbana), aplicou-se um teste de  $\chi^2$  com a hipótese nula formulada no seguinte pressuposto;  $H_0$ : “A probabilidade de ocorrência de precipitação é a mesma para todos os dias da semana”.

## 2.5 Regimes pluviométricos – Modelação com recurso às Cadeias de Markov

A utilização das cadeias de Markov teve como objectivo avaliar as dependências temporais na sucessão de estado, leia-se sucessão de dias com ocorrência ou ausência de precipitação. Considerou-se como variável aleatória  $X(t)$  – “Ocorrência ou ausência de precipitação num instante  $t$ ”, com  $t=1$  dia, 2 dias, 3 dias...7 dias e em que  $t$  toma apenas dois valores: “S” – ocorrência de precipitação e “N” – ausência de precipitação. Pretendeu-se avaliar se esta variável num instante  $t+n$  depende ou não do valor da variável no instante  $t$ , ou seja, se a probabilidade de ocorrer (ou não) precipitação num determinado dia estaria ou não relacionada com a ocorrência deste estado no 1, 2, 3... $n$  dias anteriores.

Após a construção das matrizes de transição de estado da variável aleatória  $X(t)$  (a que resulta da contagem das transições de estados efectivamente observadas pelos registos) e a matriz de transição de estados esperados (a que resulta da hipótese de independência na transição de estados), foi possível estabelecer um teste de  $\chi^2$  à hipótese  $H_0$ : “As diferenças entre probabilidades observadas e esperadas não são significativas”, indicando a rejeição desta hipótese a existência de cadeia de Markov de ordem  $n$ , em que  $n$  é o número de dias anteriores ao dia em análise. Testou-se a existência de cadeias de Markov de 1ª, 2ª e 3ª ordem. Com base nas cadeias de Markov de 1ª ordem construíram-se ainda as matrizes de probabilidades de transição de ordem  $n$ ,  $[P^n]$ , com  $n = 1, 2, \dots, n$ . Estabeleceu-se, assim, não só uma evolução das probabilidades de mudança de estados a diferentes passos (leia-se a diferentes dias), mas também houve a possibilidade de estabelecer as probabilidades de transição estacionárias entre os diferentes estados.

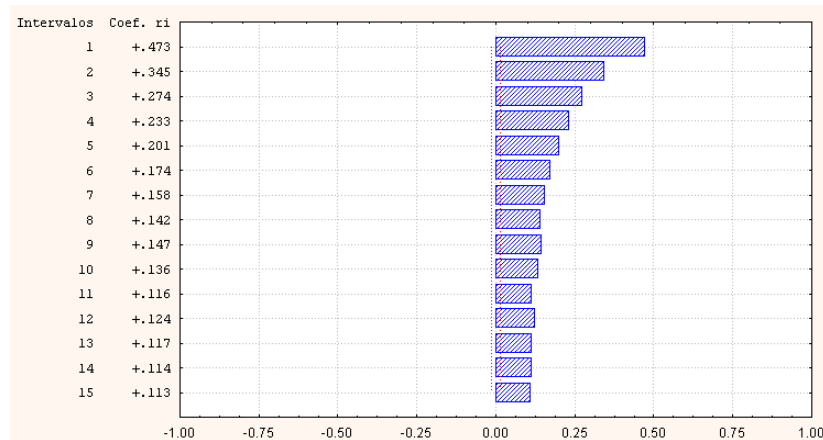
## 2.6 Regimes pluviométricos – Modelação com recurso aos variogramas temporais

Normalmente, as análises clássicas do estudo de séries temporais que habitualmente enquadram o tipo de dados em análise consistem na aplicação da função de autocorrelação (Equação 1) enquanto ferramenta exploratória da dependência temporal dos registos. Com a utilização desta função procurou-se indicar em que medida cada registo num dado instante  $t$  se relaciona com os registos em instantes  $t+1, t+2, \dots, t+i$ , ou seja, em que medida a ocorrência ou não de precipitação num determinado dia se relaciona com os estados pluviométricos dos dias seguintes. Para cada intervalo fixo  $i$  calculou-se a correlação amostral  $r_i$ , entre os valores de  $X_t$  e  $X_{t+i}$ .

$$r_i = \frac{\sum_{t=1}^{N-1} (X_t - \bar{X})(X_{t+i} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2} \quad (1)$$

com  $i = 1, 2, 3, \dots, n-1$ .

É possível construir correlogramas, os quais, quando aplicados aos registos diários da precipitação, fornecem coeficientes de correlação temporal entre os sucessivos valores separados por  $i$  dias. A título de exemplo, na Figura 2 ilustra-se o correlograma obtido para registos da precipitação relativos à cidade do Porto.



**Fig. 2 Correlograma dos dados da precipitação diária na cidade do Porto**

Estudou-se a estrutura da dependência temporal na ocorrência ou ausência de precipitação e compararam-se os resultados com os propostos por abordagens clássicas baseadas em metodologias do tipo de Box e Jenkins. Procurou-se ainda detectar eventuais ciclicidades nos registos com recurso a “*variogramas temporais*”.

Como alternativa ao estudo clássico tratou-se a série temporal no contexto da geoestatística (Góis, 2004), tentando mostrar a estrutura da variabilidade temporal da precipitação através da construção de semivariogramas que evoluem no tempo. Considerando  $Z(X_t)$  o valor da precipitação no dia  $t = 1, 2, 3, \dots, 10957$ , e impondo que o processo obedeça aos seguintes constrangimentos:

- $E[Z(x_t)] = \text{const. } \forall t \in T$  (estacionaridade);
- $\text{Var}[Z(x_t) - Z(x_s)] = 2\gamma|t - s|, \forall t \neq s \in T$  (isotropia).

é possível definir o semivariograma temporal como,

$$\gamma(t) = \frac{1}{2N(t)} \sum_{i=1}^{N(t)} [Z(X_i) - Z(X_i + t)]^2 \quad (2)$$

onde:

$\gamma(t)$  é o semivariograma para um vector  $t$  (dias);

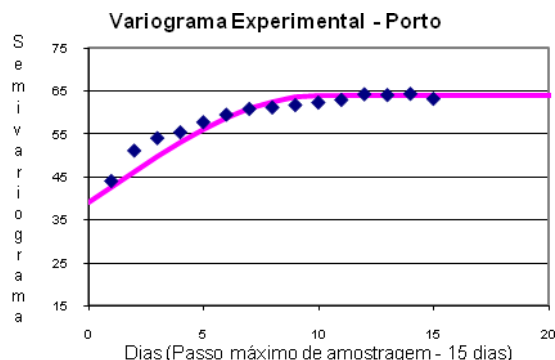
$Z(X_i)$  e  $Z(X_{i+t})$  são os pares de observações das condições pluviométricas separados pelo vector  $t$  (dias);

$N(t)$  é o número de pares de valores medidos  $Z(X_i)$  e  $Z(X_{i+t})$ , separados por  $t$  dias.

A observação do variograma experimental, Figura 3 (uma vez mais recorreu-se aos registos da precipitação na cidade do Porto para, com um exemplo, ilustrar o texto), com uma descrição formal muito semelhante à da Equação (1), permite identificar através da análise dos seus parâmetros algumas características da série temporal em estudo, assim:

- Ao se definir como  $a_t$  o alcance do variograma experimental, por analogia com os variogramas espaciais clássicos, pode-se concluir acerca da dependência temporal dos sucessivos estados pluviométricos;

- A análise do efeito de pepita  $CO_t$ , também à semelhança dos variogramas espaciais, permitirá concluir acerca da variabilidade associada à série de valores observados.

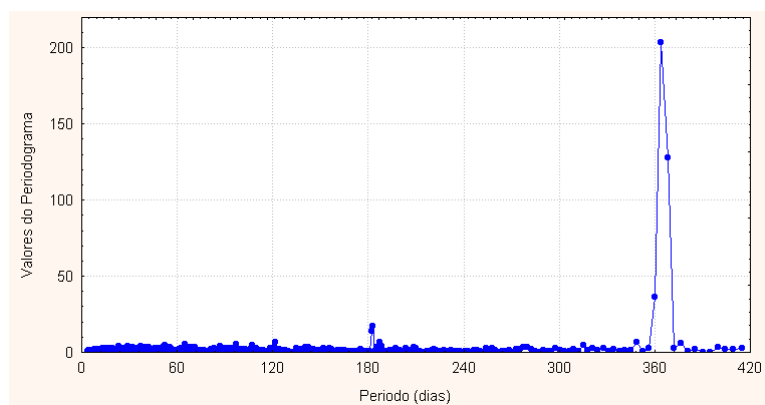


**Fig. 3 Variograma temporal dos dados da precipitação diária na cidade do Porto**

## 2.7 Análise espectral dos registos diários da precipitação

Continuando a considerar os registos da precipitação como uma variável aleatória indexada à variável tempo, procurou-se uma abordagem que permitisse a sua análise no domínio espectral (das frequências), de forma a serem evidenciadas as suas ciclicidades significativas: tendência, ciclo, sazonalidades e variações aleatórias.

Considerando a tradicional análise espectral como um conjunto de métodos que permite pôr em evidência as componentes periódicas existentes num sinal através do estudo da função no domínio das frequências, pareceu que, com toda a propriedade, a implementação de uma análise exploratória com base nesta metodologia poderia contribuir para a compreensão do comportamento da precipitação. Com base na transformada de Fourier foi possível calcular a amplitude das componentes periódicas do sinal, em função da sua frequência. Os resultados, apresentados sobre a forma de periodograma, Figura 4, revelaram-se excelentes identificadores das periodicidades existentes nos registos.



**Fig. 4 Peridograma relativo à ocorrência/ausência de precipitação na cidade do Porto**

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Estatísticos básicos

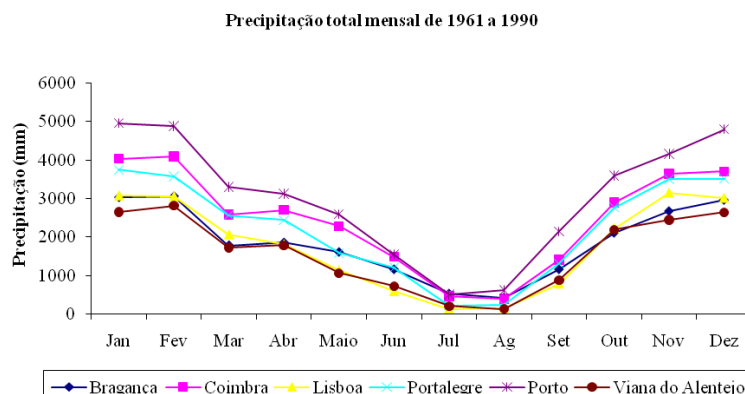
Na Tabela 2 apresentam-se alguns dos estatísticos básicos considerados neste estudo.

**Tabela 2 Estatísticos básicos da variável precipitação no período de 1961 – 1990 para as diferentes cidades analisadas**

	Média anual de precipitação (mm)	Total de dias com precipitação (n.º de dias)	% de dias com precipitação (%)	Número médio de dias com precipitação (n.º de dias)
<b>Bragança</b>	742,9	3901	36	130
<b>Coimbra</b>	989,4	4257	38	147
<b>Lisboa</b>	705,0	3022	27	104
<b>Portalegre</b>	888,9	3445	31	115
<b>Porto</b>	1208,2	5035	49	180
<b>Viana do Alentejo</b>	641,5	2759	25	92
<b>Armagh</b>	811,4	6283	63	209
<b>Campinas</b>	1441,9	3504	32	117
<b>Macau</b>	2022,2	4302	39	143
<b>Moscovo</b>	668,8	5474	50	182
<b>Vladivostok</b>	839,4	3638	33	121

Pode-se ordenar as cidades portuguesas de acordo com a sua média anual de precipitação por ordem decrescente: Porto, Coimbra, Portalegre, Bragança, Lisboa e Viana do Alentejo. Olhando para o total de dias com precipitação a ordenação é semelhante, trocando de posição apenas Bragança e Portalegre. Estes resultados vão ao encontro do esperado face às características geográficas/climáticas onde estão inseridas as localidades analisadas.

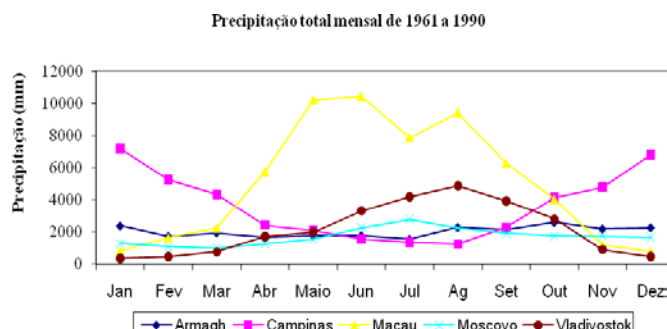
A Figura 5 ilustra a variação da precipitação mensal acumulada, no período em estudo, para as localidades portuguesas.



**Fig. 5 Precipitação total mensal para as cidades portuguesas**

Numa primeira análise, meramente qualitativa, poder-se-á definir a existência de três épocas com regimes pluviométricos distintos para as seis localidades. Para Bragança e Coimbra a divisão das épocas é a seguinte: época chuvosa, que compreende os meses de Outubro, Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro; época de transição, na qual se incluem os meses de Março, Abril e Maio; e época seca, correspondente aos meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro. Em Lisboa, Portalegre, Porto e Viana do Alentejo a época de transição inclui os meses de Março, Abril, Maio e Setembro e a época seca engloba os meses de Junho, Julho e Agosto.

Na mesma perspectiva, a Figura 6 permite observar a variação da precipitação mensal acumulada no período em estudo, para as diferentes localidades estrangeiras.



**Fig. 6 Precipitação total mensal para as localidades estrangeiras**

Face aos dados disponíveis e numa primeira aproximação pode-se afirmar que as localidades estrangeiras apresentam regimes pluviométricos muito distintos. Para Moscovo verifica-se a existência de 2 épocas: uma época chuvosa, a qual engloba os meses de Junho, Julho e Agosto, e uma época mais moderada e estável, da qual fazem parte os restantes meses. Em Vladivostok pode-se considerar 3 épocas distintas: uma época chuvosa, a qual abarca os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro; uma época de transição, da qual fazem parte os meses de Abril, Maio e Outubro e, por último, uma época seca, incluindo os meses de Janeiro, Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro. Considerou-se o regime de precipitação de Campinas dividido em 3 épocas: época chuvosa, constituída pelos meses de Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro; época de transição, da qual fazem parte Março, Abril, Maio, Setembro e Outubro; e época seca, que engloba os meses de Junho, Julho e Agosto. Para Macau considerou-se 3 épocas: época chuvosa, que engloba os meses de Maio, Junho, Julho e Agosto; época seca, que inclui os meses de Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro e, por último, época de transição, da qual fazem parte os restantes meses. Finalmente, para a cidade de Armagh considerou-se duas épocas, uma mais chuvosa, a qual vai de Agosto a Janeiro, e uma outra menos chuvosa, que tem início em Fevereiro e termina em Julho, apesar das diferenças entre ambas não serem muito significativas. O estabelecimento das diferentes épocas é baseado somente na observação dos valores da precipitação total e não segue um qualquer critério climático que atenda às classificações usuais. Este procedimento é discutível. Foi utilizado com o propósito de individualizar períodos de análise cujas características do regime de precipitação se revelaram mais homogêneas.

### 3.2 Teste de $\chi^2$

Na Tabela 3 apresentam-se os resultados do teste de  $\chi^2$  utilizado para averiguar uma eventual diferença entre os ritmos de precipitação ao fim-de-semana *versus* os ocorridos durante a semana.

**Tabela 3 Teste de  $\chi^2$  para as localidades portuguesas**

TESTE DO $\chi^2$ APLICADO À PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO PARA CADA DIA DA SEMANA					
H <sub>0</sub> : “A probabilidade de ocorrência de precipitação é a mesma para todos os dias da semana”					
Bragança	Coimbra	Lisboa	Portalegre	Porto	Viana do Alentejo
Não se Rejeita H <sub>0</sub>					
Moscovo	Vladivostok	Campinas	Macau	Armagh	
Não se Rejeita H <sub>0</sub>					



Verifica-se que a probabilidade de ocorrência de precipitação é independente do dia da semana para todas as localidades, portuguesas e estrangeiras.

### 3.3 Cadeias de Markov

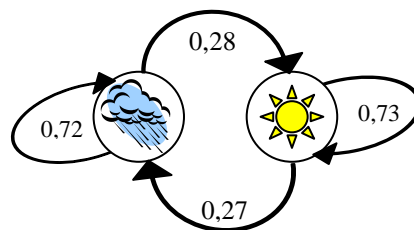
Face à enorme profusão dos outputs obtidos, optou-se por ilustrar os resultados obtidos apenas para uma localidade, a cidade do Porto, e considerando somente as cadeias de Markov de 1ª ordem. A aplicação das cadeias de Markov de 1ª ordem, com um Espaço de estados definido por  $X = \{Chove - "S"; Não chove - "N"\}$  para os registos de precipitação da cidade do Porto, considerou os seguintes passos metodológicos:

i) Matriz de transição de estados observada

		PARA	
		S	N
DE	S	3634	1401
	N	1400	3791

ii) Matriz de probabilidades de transição entre estados observada

		PARA	
		S	N
DE	S	0,72	0,28
	N	0,27	0,73



iii) Matriz de probabilidades de transição esperada na hipótese de independência entre estados

		PARA	
		S	N
DE	S	0,49	0,51
	N	0,49	0,51

iv) Matriz de transição esperada na hipótese de independência entre estados

		PARA	
		S	N
DE	S	2479,1	2555,9
	N	2555,9	2635,1

v) Teste do  $\chi^2$  à hipótese nula  $H_0$  - “A sucessão dos estados é independente do estado anterior, não existe cadeia de Markov”. Matriz das diferenças entre estados (Esperado – Observado)<sup>2</sup>/Esperado

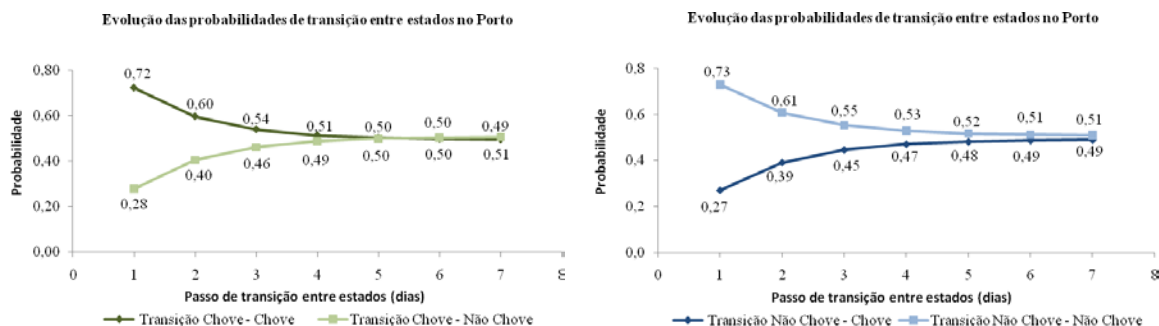
		PARA	
		S	N
DE	S	538,0	521,9
	N	522,8	507,0

vi) Resultado obtido,  $\chi^2$  obtido = 2089,7; Nível de significância = 0,05;  $\chi^2$  crítico = 3,94  
Resultado do Teste: **Rejeita-se a hipótese  $H_0$ .**

Pela aplicação da metodologia descrita a todas as cidades consideradas no estudo, verificou-se a existência de cadeias de Markov de 1ª, 2ª e 3ª ordem. Este facto revela que a sucessão dos estados (“chove” e “não chove”) não é independente, isto é, o estado que



ocorre num determinado dia está relacionado, pelo menos, com os estados que ocorreram nos 3 dias anteriores. Com base ainda nas cadeias de Markov e recorrendo às matrizes de probabilidades de transição de ordem  $n$ ,  $[P^n]$ , foi possível estabelecer a evolução das probabilidades de transição entre estado a diferentes intervalos de tempo. A Figura 7 ilustra a evolução das probabilidades de transição para a cidade do Porto.

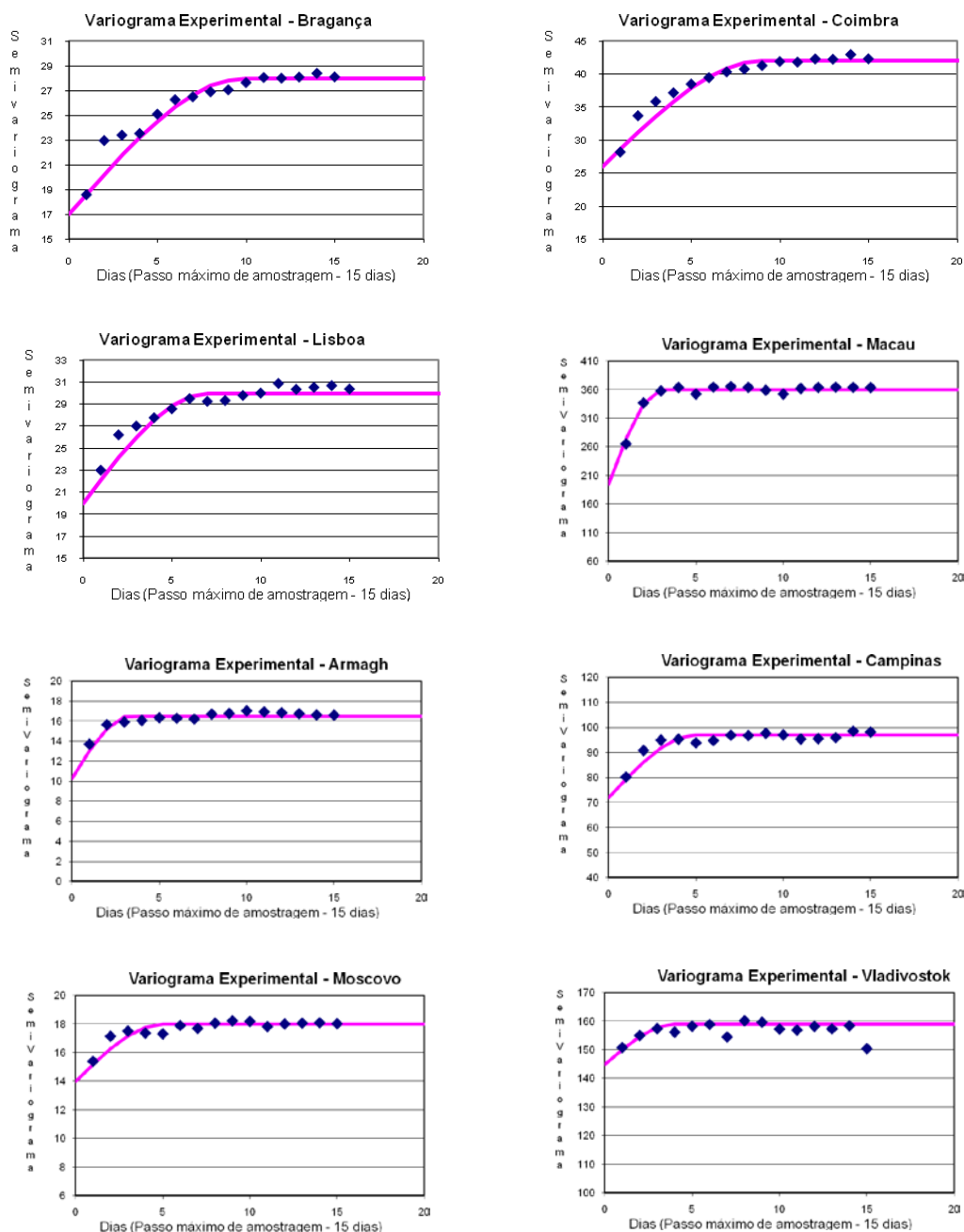


**Fig. 7 Evolução das probabilidades de transição entre estados na cidade do Porto**

Existe uma tendência para uma certa homogeneidade na sucessão das condições pluviométricas, isto é, as probabilidades de transição mais elevadas ocorrem nas sucessões entre estados com as mesmas condições de precipitação,  $p(s,s)$  e  $p(n,n)$ . Verifica-se que após um dia com ocorrência de precipitação, a maior probabilidade é que ocorra no dia seguinte um dia igualmente com precipitação. De forma análoga, a um dia sem precipitação tenderá a suceder-se, com maior probabilidade, um dia sem ocorrência de precipitação. Na quase totalidade dos cálculos destinados a determinar as probabilidades estacionárias, verificou-se que estas eram atingidas ao fim de 7 transições. Sendo assim, é impossível estabelecer qualquer relação de dependência entre a sucessão das condições pluviométricas para além do período de 7 dias. Para todas as localidades portuguesas em estudo verificou-se que, à semelhança do Porto, ao fim de 7 dias é impossível estabelecer dependência entre a sucessão dos estados pluviométricos. Já para as cidades estrangeiras, foram evidentes diferenças: em Macau e em Campinas apenas se observa um relação entre estados pluviométricos até ao fim 6 dias e em Moscovo e em Vladivostok ao fim de 5 dias. Armagh, à semelhança das localidades portuguesas, tem um limite de 7 dias.

### 3.4 Variogramas temporais

Pela observação do comportamento dos variogramas temporais e atendendo ao valor de  $a_t$ , pode-se concluir que a dependência temporal dos sucessivos estados pluviométricos se esgota ao fim de aproximadamente 7 dias (Viana do Alentejo, Portalegre e Coimbra apresentaram variogramas experimentais quase idênticos). Os elevados efeitos de pepita  $CO_t$  observados (cerca de 40% da variância à priori) remetem para uma grande variabilidade da dependência temporal mesmo para pequenos intervalos de tempo. No sentido de ilustrar as potencialidades da metodologia agora proposta ilustra-se, na Figura 8, a título de exemplo os variogramas temporais obtidos para algumas das localidades em estudo.



**Fig. 8 Variogramas temporais para a precipitação diária no período 1961 – 1990**

Todas as cidades estrangeiras evidenciam menores dependências temporais, com valores de  $t$  a oscilarem entre os 3 a 6 dias e com efeitos de pepita bastante mais elevados do que os apresentados pelas localidades portuguesas (Vladivostok apresenta um variograma quase de efeito de pepita puro!).

Os resultados obtidos pela abordagem geoestatística confluem, em consistência, com os métodos anteriormente utilizados, reforçando as tendências reveladas pelas cadeias de Markov, com os indícios levantados pela análise do correlograma (por construção o correlograma e o variograma são funções quase idênticas), ou mesmo com as análises que decorrem da interpretação dos peridogramas. Para as cidades portuguesas, a análise variográfica sobre diferentes intervalos de amostragem permite ainda a detecção de ciclicidades, onde é claramente observável um ciclo com um período de 360 dias e que

corresponderá ao comportamento periódico anual expectável da precipitação. Verifica-se igualmente um aumento constante dos valores do variograma até sensivelmente um  $t = 180$  dias, facto que estará em concordância com um possível efeito sazonal associado ao ritmo da precipitação das cidades portuguesas.

O ajuste de modelos teóricos aos variogramas experimentais pode revelar-se de extrema utilidade se se atender, por exemplo, à possibilidade que a função ajustada oferece para a estimativa de eventuais falhas existentes em registos históricos. Modelos teóricos de variogramas do tipo sinusoidal como o proposto por Cressie (Cressie, 1992), Equação 3, ou variantes que pormenorizem o andamento da função para os diferentes intervalos de  $t$ , Equação 4, poderão constituir a função matemática capaz de modelar a dependência temporal de longas séries (séries de vários anos de registos e nas quais o variograma considere grandes passos de amostragem).

$$\gamma(t) = C_i \left[ 1 - \frac{\sin(t)}{t} \right] \quad (3)$$

$$\gamma(t) = \begin{cases} 0 & ; t = 0 \\ C0_t + C1_t \left[ 1 - a_t \sin\left(\frac{t}{a_t}\right)/t \right] & ; a_t \leq t \leq a1_t \\ C0_t + C2_t \left[ 1 - a1_t \sin\left(\frac{t}{a1_t}\right)/t \right] & ; t > a1_t \end{cases} \quad (4)$$

A abordagem exposta apresenta-se particularmente promissora nos seguintes aspectos:

- A variabilidade e dependência temporal da precipitação pode ser descrita através da função variograma, permitindo-se inferir um grau de correlação temporal entre os registos;
- O uso desta metodologia possibilita a identificação de periodicidades nos registos;
- A simplicidade dos conceitos, das interpretações e do formalismo matemático envolvido, faz com que esta metodologia possa constituir uma credível alternativa à análise espectral. Acresce o facto dos conceitos envolvidos na construção do variograma serem de compreensão mais simples do que os relacionados com o periodograma;
- A geoestatística apresenta ainda a vantagem de poder tratar, de uma forma simples, séries não igualmente espaçadas no tempo, uma vez que a sua implementação não depende da igualdade de espaçamento entre as observações da série;
- Associada a técnicas de Krigagem, esta metodologia poderá ser utilizada para realizar estimativas das condições pluviométricas.

#### 4 CONCLUSÕES

As várias localidades em análise exibem regimes pluviométricos distintos. Enquanto as localidades portuguesas têm comportamentos muito idênticos entre si, podendo-se, no entanto, destacar o Porto com precipitação mais abundante e Viana do Alentejo com a menor ocorrência de precipitação; as localidades estrangeiras têm comportamentos díspares. Verifica-se a existência de três épocas com regimes pluviométricos distintos para as localidades portuguesas: época chuvosa, que compreende, em termos gerais, os meses de Outubro, Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro; época de transição, na qual se incluem os meses de Março, Abril, Maio e por vezes Junho/Setembro; e época seca, correspondente aos meses de Julho, Agosto e por vezes Junho/Setembro. A divisão por épocas nas localidades estrangeiras varia consoante a cidade.

Da aplicação do teste de  $\chi^2$  com a hipótese  $H_0$ : “A *probabilidade de ocorrência de precipitação é a mesma para todos os dias da semana*” constatou-se que para todas as localidades a probabilidade de ocorrência de precipitação é independente do dia da semana.

Verificou-se a existência de cadeias de Markov de 1ª, 2ª e 3ª ordem em todas as localidades portuguesas e estrangeiras, pelo que há uma dependência entre os estados {Ocorrência da precipitação, Ausência de precipitação} num dia e os 3 dias anteriores.

À excepção de Vladivostok, verifica-se a existência de uma tendência para uma certa homogeneidade na sucessão das condições pluviométricas. As probabilidades de transição mais elevadas ocorrem nas sucessões entre estados com as mesmas condições de precipitação,  $p(s,s)$  e  $p(n,n)$ .

Para as localidades portuguesas, na quase totalidade dos cálculos destinados a determinar as probabilidades estacionárias, verificou-se que estas eram atingidas ao fim de 7 transições, pelo que é impossível estabelecer qualquer relação de dependência entre a sucessão das condições pluviométricas para além do período de 7 dias.

Nas localidades estrangeiras a obtenção de probabilidades estacionárias varia: em Macau e em Campinas estas obtêm-se ao fim de 6 dias, em Moscovo e Vladivostok ao fim de 5 dias e em Armagh no final de 7 dias.

A abordagem geoestatística veio provar, uma vez mais, a sua utilidade e versatilidade ao permitir determinar não só período (número de dias) para o qual é possível estabelecer uma dependência temporal entre a precipitação ocorrida em sucessivos dias, mas também no que respeita à identificação de periodicidades presentes nas séries de registos analisados.

## 5 AGRADECIMENTOS

À Professora Ana Monteiro, pelos registos relativos à cidade do Porto e ao Professor João Corte-Real pela cedência dos dados relativos às outras localidades portuguesas.

## 6 REFERÊNCIAS

Cerveny, R. S. and R.C. Balling, Jr. (1998) Weekly cycles of air pollutants, precipitation and tropical cyclones in the coastal NW Atlantic region, **Nature**, 394, 561-563.

Cressie, N. (1992) **Statistics for spatial data**, John Wiley & Sons, New York

Góis, J. (2004) Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, Tese de Doutoramento, FEUP, Porto, 670 pp.

Huff, F. A., S. A. Changnon, (1973) Precipitation Modification By Major Urban Areas. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 54, 1220-1232

Landsberg, H. E. (1970) Man-made Climatic Changes, **Science**, 170, 1265-1274.

Toon, O.B. (2000) Perspective: How pollution suppresses rain, **Science**, 287, 1763-1765.